Logische versus physikalische Definitionen in der physikalischen Begriffsbildung

Balzer, Wolfgang

Logische versus physikalische Definitionen in der physikalischen Begriffsbildung

Wolfgang Balzer[1)]

Die Frage,was eine Definition sei,beschäftigte schon Manchen lange bevor es eine auf Experimenten fußende Physik gab.Das ist natürlich kein Argument <u>für</u> den Output solch langer Beschäftigung.Aber diese Bemerkung scheint mir doch geeig= net,die richtige Perspektive zu finden,wenn man über Definitionen bei der physikalischen Begriffsbildung redet. Was eine Definition ist und was nicht,wird nicht allein von der Physik entschieden.Der Hinweis auf den historischen Vorrang von Definitionsfragen zeigt,daß diese von sehr all= gemeinem Interesse sind.Nicht nur sollte 'Definition' in allen Naturwissenschaften das gleiche bedeuten;auch in anderen Wissenschaften,ja selbst in 'unwissenschaftlichen' Lebensbereichen,erwartet man,einen allgemeinen Definitions= begriff anwenden zu können.Der Grund hierfür liegt auf der Hand: Definitionen sind rein sprachliche Angelegenheiten und um sich über sie einig zu werden,braucht man keine Kenntnisse über z.B. Physik.

Der angesprochene Output historischer Bemühungen in Definitionsfragen wird heute von der mathematischen Logik verwaltet und weiterbearbeitet.Während man in der Prädi= katenlogik erster Stufe von einer einigermaßen abgeschlos= senen Definitionslehre sprechen kann,sind reichere Sprachen, insbesondere die der Mengenlehre von einer solchen noch weit entfernt.All dies zusammen hat dazu geführt, Definitionsfragen als relativ unwichtig abzutun.Man weiß ja, was eine explizite Definition ist und das genügt.

Aber gerade im Zusammenhang mit der physikalischen Begriffs=

bildung und der nun schon fünfzig Jahre währenden,ergebnis=losen Diskussion darüber scheint es mir nutzbringend,den Aspekt der Definitionen aus seinem dunklen Winkel hervor=zuziehen und den Definitionsbegriff zu überdenken.Grob gesprochen lautete das vieldiskutierte Problem: Wie kann man 'theoretische' Begriffe einführen,ohne sie zu definieren? Damit in dieser Frage überhaupt ein Problem sichtbar wird,muß man natürlich unterstellen,daß es in den Wissenschaften 'theoretische' Terme gibt und daß sie nicht durch Definition eingeführt werden.Ich gehe im Folgenden davon aus,daß dem so ist.

Eine Lösung des Problems ist die von Ramsey: "theoretische Begriffe werden in existenzquantifizierter Form einge=führt".Eine andere Lösung gibt Lorenzen: "Wissenschaft soll so betrieben werden,daß die problematischen Fälle -bei denen theoretische Terme auftreten- verschwinden".Die dritte Möglichkeit einer Antwort,die ich hier ins Auge fassen will,ist: "bei einer Modifikation des Definitionsbe=griffs werden die fraglichen 'theoretischen' Begriffe zu definierten Begriffen".

Ich werde zunächst den üblichen Definitionsbegriff dar=stellen,sodann für dessen Inadäquatheit bei der physikalischen Begriffsbildung argumentieren und schließ=lich einen Vorschlag zur Modifikation dieses Begriffs unterbreiten.

I LOGISCHE DEFINITION

Das Wort 'Definition' wird in verschiedenen Bedeutungen verwandt.Daher scheint es ratsam,zunächst zu sagen,was hier unter Definition nicht verstanden werden soll.Da gibt es einmal die 'ostensive Definition'.Hierbei handelt es sich um einen teils sprachlichen,teils hinweisenden Akt: indem auf ein Ding oder einen Vorgang oder Sachverhalt hinge=

wiesen wird,spricht man ein Wort als zugehörige Bezeichnung aus.So werden Worte auf nicht-verbale Weise mit Dingen oder Sachverhalten verknüpft.Man sagt auch,die Worte werden ostensiv definiert.Ostensive Definitionen bilden eine Teil= klasse der 'Zuordnungsdefinitionen'.Das sind nach Reichen= bach Regeln,die einen Begriff einem existierenden Ding zu= ordnen,etwa den Begriff des Urmeters dem konkreten Ding,das sich an einem genau zu beschreibenden Ort in Paris be= findet [2].Von ostensiven Definitionen und Zuordnungs= definitionen wird hier nicht die Rede sein.Weiter gibt es 'operationale Definitionen'.Diese bilden eine subtilere Version von ostensiven Definitionen: An die Stelle des nicht-sprachlichen Hinweises auf ein Ding oder einen Sach= verhalt tritt der nicht-sprachliche Hinweis auf ein 'Meß= instrument'.Bestimmte Zustände des Meßinstrumentes werden mit bestimmten sprachlichen Ausdrücken bezeichnet und somit werden bestimmte Wörter in diesen Ausdrücken operational definiert.Operationale Definitionen spielen eine Rolle bei der Einführung primärer physikalischer Begriffe.Primärer physikalischer Begriff ist dabei ein quantitativer Begriff, der 'zuerst' eingeführt wird,d.h. ohne die Voraussetzung, daß andere quantitative Begriffe schon eingeführt sind. Auch mit operationalen Definitionen in diesem Sinn werde ich mich hier nicht beschäftigen.Schließlich wird das Wort 'Definition' noch wie etwa in folgendem Satz verwandt: "Ich definiere jetzt den Begriff der trägen Masse".In der Regel ist dies eine abgekürzte Redeweise.Man hat dabei unterschlagen,wodurch der fragliche Begriff definiert werden soll.

Damit bin ich bei meinem Gegenstand,der Definierbarkeit eines Begriffs (im Folgenden stets abgekürzt durch q) durch andere Begriffe (im Folgenden stets $p_1,\dots,p_n$).Diese Art von Definierbarkeit ist eine sprachliche Angelegenheit. Sie spielt in der Physik eine große Rolle,obwohl sich die Physik primär nicht mit Sprache befaßt.Die Grundidee dabei ist,daß Definierbarkeit einen Begriff im Grunde über= flüssig macht.Wenn q durch $p_1,\dots,p_n$ definierbar ist,so läßt sich jede Aussage über q auch als eine Aussage über $p_1,\ldots,p_n$ (ohne q) äquivalent formulieren.Das heißt aber nichts anderes,als daß q überflüssig ist und nur aus Ein=fachheitsgründen,als Abkürzung,benutzt wird.Abkürzungen kann man eliminieren,indem man sie durch die vollen Aus=drücke,für die sie stehen,ersetzt.Dies ist eine allgemein anerkannte,notwendige Bedingung für Definierbarkeit: Definierbarkeit liegt nur vor,wo Eliminierbarkeit gewähr=leistet ist.

Definierbarkeit läßt sich noch etwas genauer beschreiben, wenn man sich auf eine bestimmte Sprache bezieht,ohne daß man damit die spezielle Form dieser Sprache benutzen müßte. Ist L eine gegebene Sprache,so heißt in L der Term q durch $p_1,\ldots,p_n$ definierbar,wenn es einen Asudruck (Satz) A in L gibt,der außer logischen Partikeln und Variablen nur die Terme $p_1,\ldots,p_n$ enthält und wenn A mit q äquivalent ist. Um die Äquivalenz von A mit q untersuchen zu können,muß in der Regel q durch geeignete Variable zu einem Satz ergänzt werden und in A dürfen nur diese freien Variablen auf=treten.Ist z.B. q ein n-stelliges Prädikat,so bedeutet die Äquivalenz von q mit A die Gültigkeit eines Satzes

1) $$\forall x_1 \ldots \forall x_n (A(x_1,\ldots,x_n) \leftrightarrow qx_1 \ldots x_n)$$

wobei in A außer $x_1,\ldots,x_n$ keine freien Variablen auf=treten.Einen Satz der Form 1) wird man dann als Definition von q durch $p_1,\ldots,p_n$ in L bezeichnen.

Man sieht in 1) schon an der Form,daß q eliminierbar ist. Überall,wo q in einem Satz auftritt,kann es durch einen entsprechenden Ausdruck A ersetzt werden,wenn man die Variablen mit genügender Vorsicht behandelt.In formalen Sprachen ist dieser Eliminationsprozeß fast immer durch=führbar.

Wenn aber q eliminierbar ist,so fragt sich,was q bedeutet. Genauer: Welches Ding oder welcher Sachverhalt wird durch q bezeichnet? Zumindest dies ist klar: Wenn q überhaupt ein Ding oder einen Sachverhalt bezeichnet,dann muß dieses Ding oder dieser Sachverhalt sich vollständig als eine Art Kompositum aus anderen Dingen oder Sachverhalten darstellen. Denn jede Aussage über das von q bezeichnete Ding (Sach=verhalt) läßt sich ja formulieren als Aussage nur über $p_1,\ldots,p_n$,also als Aussage über die von $p_1,\ldots,p_n$ be=zeichneten Dinge oder Sachverhalte.Eine Aussage über die von $p_1,\ldots,p_n$ bezeichneten Dinge oder Sachverhalte enthält aber jedenfalls keinen Bezug auf irgendeinen Referenten von q.

Eine Verschärfung des Definierbarkeitsbegriffs erhält man durch Übergang von Sprachen zu Theorien.Dieser Übergang ist im Zusammenhang mit Physik von vornherein nötig,weil Physik in Form von Theorien vorliegt.Gegenwärtig gibt es keinen allgemein anerkannten Begriff einer physikalischen Theorie. Verschiedenen spezifischen Vorschlägen von v.Fraassen (2), Ludwig (4) und Sneed (12),denen sicher noch andere Vor=schläge folgen werden,steht der abstrakte Theoriebegriff der mathematischen Logik gegenüber.Jeder Begriff hat seine Vor- und Nachteile und es steht nicht zu erwarten,daß einer dieser Begriffe sich ohne große Modifikationen in Zukunft vor den anderen durchsetzen wird.Ich beschränke mich deshalb auf zwei allgemeine Züge,die allen Theorienkon=zepten gemeinsam sind.Erstens hat jede Theorie T eine Sprache L(T),in der sie formuliert ist.Zweitens gehört zu jeder Theorie T eine Menge von Modellen $\mathfrak{M}$(T) dieser Theorie[3).Modelle müssen dabei nicht unbedingt 'reale Systeme' sein,auch abstrakte (z.B.mathematische) Modelle zählen mit.

Zwischen Sprache und Modellen einer Theorie besteht ein einfacher,natürlicher Zusammenhang: Die Modelle werden von bestimmten Sätzen der Sprache beschrieben.In der her=kömmlichen Logik geschieht dies genauer durch Inter=pretationen der Sprache L(T).Eine Interpretation ordnet jedem sprachlichen Ausdruck (insbesondere jedem sprach=lichen Zeichen) ein Ding oder einen Sachverhalt zu.Sind diese Dinge und Sachverhalte so beschaffen,wie die ausge=zeichneten Sätze der Theorie (Axiome) es sprachlich be=

schreiben,so bilden sie ein Modell.Details findet man in jedem Logik-Lehrbuch (z.B. in (10)).Den Sachverhalt,der durch eine Interpretation $\mathfrak{I}$ dem Zeichen q zugeordnet wird, bezeichne ich mit $\mathfrak{I}(q)$ (genauer sollte man bei $\mathfrak{I}(q)$ von einer Menge von Sachverhalten reden).In den mengen=theoretischen Formalismen von Ludwig und Sneed,wo die Zeichen der Sprache von vornherein für Mengen stehen,kann man bei Definitionsfragen auf Interpretationen verzichten. Die folgenden Betrachtungen bleiben auch für diese Formalismen richtig,wenn man $\mathfrak{I}(q)$ mit q identifiziert.

Definierbarkeit von q durch $p_1,\ldots,p_n$ in einer Theorie T heißt nun,daß $q,p_1,\ldots,p_n$ Terme von L(T) sind und daß es einen Satz A in L(T) gibt,sodaß

i) q nicht in A vorkommt und
ii) die Äquivalenz von A und q aus T ableitbar ist.

Mit Hilfe des Modellbegriffs läßt sich für diese Definier=barkeit ein intuitiv sehr klares Bild gewinnen.Es gilt nämlich der folgende Satz[4]:

2) Ist q in T durch $p_1,\ldots,p_n$ definierbar,so ist in jedem Modell von T $\mathfrak{I}(q)$ durch $\mathfrak{I}(p_1),\ldots,\mathfrak{I}(p_n)$ eindeutig bestimmt.

Man beachte,daß die Entitäten $\mathfrak{I}(q)$, $\mathfrak{I}(p_i)$ im Fall der Physik 'physikalische Größen' realer physikalischer Systeme sind.So könnte z.B. $\mathfrak{I}(p_1)$ die reale Bahn eines Pendels im Labor sein und $\mathfrak{I}(q)$ dessen Masse.Der obige Satz ge=stattet es,die realistische Sprechweise der Physik auch in Definierbarkeitsfragen zu verwenden.Ist die fragliche Größe q nicht in allen Systemen,mit denen sich die Theorie beschäftigt,eindeutig durch die Größen $p_1,\ldots,p_n$ bestimmt, so ist sie auch nicht durch $p_1,\ldots,p_n$ definierbar.

Zweifellos finden logische Definitionen im eben erklärten Sinn in der Physik Verwendung.Fragt man jedoch genauer,ob sie eine Rolle bei der Einführung neuer Begriffe spielen, so ist die Antwort unklar.Die Situation ist die.Es sind bereits physikalische Terme $p_1,...,p_n$ vorhanden,von denen wir annehmen,daß sie wohlverstanden seien.Der Fall,daß $p_1,...,p_n$ keine physikalischen Terme sind,wird hier nicht diskutiert.Es wird nun ein neuer Term q ins Spiel gebracht und derjenige,der q einführt,muß seinen Kollegen klar machen,was er mit q meint.Genauer wird q zusammen mit einer neuen Theorie T vorgeschlagen,die auch mit den Termen $p_1,...,p_n$ arbeitet.Ist der neue Term q dann in T durch $p_1,...,p_n$ definierbar? Oder anders: Wird q durch logische Definition eingeführt? Zunächst stellt man fest:

3) Nicht alle physikalischen Begriffe werden durch logische Definition eingeführt.

Ein Teil dieser Aussage ist trivial.Würde ein primärer physikalischer Term durch Definition eingeführt,so müßten ja schon andere Begriffe zur Verfügung stehen,durch die der fragliche Begriff definiert wird.Die vorgängig verfüg= baren Begriffe sind dann keine physikalischen Begriffe und in der Regel qualitativ.Durch qualitative Begriffe aber lassen sich quantitative Begriffe nur in günstigen Fällen festlegen,nämlich in Fällen,in denen ein Re= präsentationstheorem beweisbar ist.Der zweite Teil von Aussage 3),der Teil,der sich auf sekundäre (=nicht-primäre) Begriffe bezieht,ist nicht trivial.Sicher gibt es Theorien,in denen ein neuer Begriff durch schon vor= handene Begriffe logisch definiert wird.Ein harmloses Bei= spiel ist etwa die Definition der Dichte als Gewicht pro Volumen.Manchen Autoren zufolge ist das zweite Newtonsche Axiom eine Definition,nämlich eine Definition der Kraft (hierzu gibt es auch andere Auffassungen,z.B.(1),(13)).

Man findet jedoch - wie wir weiter unten sehen werden- andere Beispiele, in denen ganz offensichtlich keine logische Definition vorliegt. Die Behauptung 3) ist also richtig. Ob 3) auch eine interessante Aussage ist, hängt davon ab, ob die angekündigten Beispiele interessant sind.

Ich meine, daß gerade in interessanten Fällen physikalische Begriffe nicht durch logische Definition eingeführt werden. Und ich meine, daß man durch Überlegungen, die mehr zur Philosophie gehören, auch verstehen kann, warum dies so ist und daß logische Definitionen für physikalische Begriffsbildung im allgemeinen nicht adäquat sind. Hierzu habe ich drei Argumente.

A) DAS ONTOLOGISCHE ARGUMENT

Ich setze voraus, daß der Leser irgendeine Vorstellung davon hat, was es heißt, daß ein Wort (auch ein Begriff letzten Endes) ein Stück Realität bezeichnet. In dieser Redeweise läßt sich ein altes (das Ockhamsche) Prinzip so formulieren. Man soll etwas nur dann als ein Stück Realität betrachten, wenn es unbedingt nötig ist. Nehmen wir an, daß q in T durch $p_1,\ldots,p_n$ definierbar sei und daß $p_1,\ldots,p_n$ und auch q jeweils ein Stück Realität bezeichnen. Alles, was ich in T über dieses Stück Realität, das durch q bezeichnet wird, sagen kann, läßt sich auch ausdrücken, indem ich nur die Terme $p_1,\ldots,p_n$ benutze, also nur über die Stücke der Realität rede, die durch $p_1,\ldots,p_n$ bezeichnet werden. Es besteht daher keine Notwendigkeit anzunehmen, daß q darüberhinaus noch ein weiteres Stück Realität bezeichnet. Nach Ockhams Prinzip bezeichnet deshalb q auch kein Stück der Realität. Salopp ausgedrückt: Definierbare Terme bezeichnen keine eigene Realität.

Dieses zugegebenermaßen metaphysische Argument bereitet einiges Kopfzerbrechen. Denn in der Physik wird nicht nur realistisch geredet; der Realismus wird auch als mehr denn eine bloße Redeweise verteidigt: Selbstverständlich gibt es Kräfte, Energie, Elektronen etc. Von daher gewinnt das ontologische Argument an Schärfe, denn es besagt, etwas suggestiv formuliert: Wer Definierbarkeit eines Terms behauptet, leugnet damit die ihm zukommende eigenständige Realität und Existenz.

B) DAS HISTORISCHE ARGUMENT

Es besteht im Verweis auf die Geschichte des logischen Empirismus,auf den die heutige Wissenschaftstheorie zum Teil zurückgeht.Ich will versuchen,mit eigenen Worten den hier relevanten Aspekt des empiristischen Programms kurz zu schildern.

Eine treibende Idee der logischen Empiristen war es, wissenschaftliche Sätze vor anderen Sätzen auszuzeichnen, derart,daß die Richtigkeit wissenschaftlicher Sätze in besonders hohem Maße als sicher angesehen werden konnte. Zunächst werden dazu die sogenannten Beobachtungssätze ausgezeichnet,welche über Dinge und Sachverhalte reden,die wir 'unmittelbar' mit unserem Sinnesapparat wahrnehmen können.Andere Sätze,deren Richtigkeit man nicht durch 'bloßes Hinsehen' herausbekommt -und hierzu zählen fast alle Sätze,die in naturwissenschaftlichen Büchern stehen- sollten auf Beobachtungssätze zurückgeführt werden.

Dieses Programm stellt einen Ansatz dar,die philosophische (hier naiv formulierte) Frage zu beantworten: "Warum soll ich der Vorhersage eines Physikers mehr vertrauen als der eines Astrologen?" Daß die Antwort hierauf für die Physik und speziell die Begriffsbildung in der Physik nicht gänzlich irrelevant ist,dürfte klar werden,wenn man über die von seiten der Physik angebotene Antwort (ebenso naiv formuliert) etwas nachdenkt: "Weil sich die Voraussagen des Physikers viel öfter als richtig herausstellen."

Es lohnt sich also,noch etwas genauer auf den logischen Empirismus einzugehen.Quine (8),S.26 ff. erklärt den Be= griff des Beobachtungssatzes wie folgt.Zunächst werden Stimulationen als nicht-verbale Anregungen des mensch= lichen Sinnesapparates eingeführt.Sodann wird die affirmative Stimulusbedeutung eines Satzes S für einen

Sprecher A erklärt [5]: "The affirmative stimulus meaning of a sentence S for a speaker A is the class of all stimulations that would prompt A's assent to S".Analog ist die negative Stimulusbedeutung von S für A die Klasse aller Stimulationen,die A's Ablehnung von S hervorrufen würden. Ein 'occasion sentence' ist ein Satz,dessen zugehörige affirmative und negative Stimulusbedeutungen die Klasse aller Stimulationen ausschöpfen.Schließlich wird ein Satz Beobachtungssatz genannt,wenn er ein occasion sentence ist, der für alle Mitglieder der Sprachgemeinschaft die gleiche (affirmative und negative) Stimulusbedeutung hat.Von solchen Beobachtungssätzen können wir mit großer Sicher= heit sagen,ob sie richtig oder falsch sind,denn wir stützen uns dabei nur darauf,was unser Sinnesapparat 'berichtet' und mit welchen Wörtern wir solche Eindrücke zu benennen gelernt haben.Aus diesem Grund bilden die Be= obachtungssätze eine natürliche Ausgangsbasis für die Charakterisierung wissenschaftlicher Sätze.

Nun gibt es in vielen Theorien (insbesondere in physikalischen Theorien) Sätze,in denen den Sinnen unzu= gängliche Terme vorkommen.Ein Beispiel für einen derartigen Term ist etwa die Hamiltonfunktion,die keine sinnlich direkt wahrnehmbare Eigenschaft verkörpert.Das Problem der logischen Empiristen bestand darin,auch in diesen Fällen zu begründen,warum solche Sätze als wissenschaftliche Sätze gelten konnten.Ihre Lösung des Problems lautete: Die problematischen,'theoretische' Terme enthaltenden Sätze können definitorisch auf Beobachtungssätze zurückgeführt werden.Das heißt,die theoretischen Terme sind durch Terme der Beobachtungssprache definierbar.Allerdings war und ist diese Lösung keine Tatsachenbehauptung,sondern mehr ein Wunsch,ein Programm,eine Forderung.Es gab auch einige Versuche,dieses Programm in eine Tatsachenbehauptung über= zuführen.Man versuchte,die Definierbarkeit von Nicht-Beobachtungstermen nachzuweisen.

Heute besteht (allerdings aus unterschiedlichen Gründen) ziemliche Einigkeit darüber,daß das empiristische Programm gescheitert ist. Hier setzt das historische Argument an. Das Scheitern des empiristischen Programms macht es unwahrscheinlich, daß neue Terme durch Definition eingeführt werden. Denn würden neue Terme tatsächlich durch Definition eingeführt, warum sollten dann die logischen Empiristen nicht in der Lage gewesen sein, dies nachzuvollziehen?

C) DAS PHYSIKALISCHE ARGUMENT

Es besteht in der Angabe physikalischer Theorien, deren theoretische Terme nicht durch die nicht-theoretischen Terme definierbar sind. Ich bringe zwei Beispiele aus der klassischen Partikelmechanik, wo die Verhältnisse besonders einfach liegen.

Die Theorie im ersten Beispiel ist die Stoßmechanik, die in etwas allgemeinerer Form auch in der Elementarteilchenphysik auftritt. Endlich viele Teilchen werden simultan zur Kollision gebracht. Man mißt die Geschwindigkeiten vor und nach dem Stoß und berechnet die Massenverhältnisse der Teilchen aus den Geschwindigkeitsdifferenzen. Das Axiom dieser Theorie ist der Impulserhaltungssatz

4) $$\exists \mathfrak{p} \in \mathbb{R}^3 \, \forall t \, \Big(\sum_{i \leq n} m_i \dot{\vec{s}}_i(t) = \mathfrak{p} \Big)$$

Hier steht t für 'Zeitpunkt', m_i für 'Masse des i-ten Teilchens' und $\dot{\vec{s}}_i(t)$ für 'Geschwindigkeit des i-ten Teilchens zur Zeit t'. Bei Elementarteilchen taucht noch ein Term auf, der angibt, ob das fragliche Teilchen zur Zeit t existiert oder nicht. In (5) benutzte <u>Mach</u> den Stoßprozeß zweier Teilchen, die sich auf einer Geraden bewegen, zur Bestimmung des Massenverhältnisses. Er sprach in diesem Zusammenhang von einer 'Definition' der trägen Masse. Tatsächlich kann man in diesem Spezialfall das Massenverhältnis der beiden Teilchen durch die Geschwindigkeitsdifferenzen definieren, d.h. eindeutig festlegen. Denn sind t und t' zwei Zeitpunkte vor und nach dem Stoß, so folgt aus 4) für zwei Teilchen, wie man leicht nachrechnet:

5) $$m_1 (\dot{\vec{s}}_1(t) - \dot{\vec{s}}_1(t')) = m_2 (\dot{\vec{s}}_2(t') - \dot{\vec{s}}_2(t))$$

Da der Vorgang sich auf einer Geraden abspielt,kann man ein Koordinatensystem so wählen,daß nur noch eine Komponente der Ortsfunktionen s_i benötigt wird.$\dot{s}_i(t)$ und $\dot{s}_i(t')$ sind dann reelle Zahlen und man erhält aus 5)

6)
$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{\dot{s}_2(t')-\dot{s}_2(t)}{\dot{s}_1(t)-\dot{s}_1(t')}$$

Aber schon für drei Teilchen erhält man eindeutige Massen= verhältnisse nur noch mit weiteren Voraussetzungen über die Geschwindigkeiten,die nicht aus 4) ableitbar sind.Wenn man also die Theorie so versteht,daß sie Stoßprozesse nicht nur zweier sondern endlich vieler Teilchen beschreibt,d.h. wenn man 4) als Axiomenschema für $n \in \mathbb{N}$ auffaßt,so sind in dieser Theorie die Massenverhältnisse nach dem in Abschnitt I aufgeschriebenen Satz 2) nicht durch die Orstfunktionen definierbar.Denn es gibt Modelle (etwa mit drei Teilchen), in denen die Massenverhältnisse durch die Ortsfunktionen nicht eindeutig festgelegt sind.

Hier ist von Seiten der Physik eingewandt worden,daß man solche Systeme ja zu mehreren Zeitpunkten $t_1,\ldots,t_k$ be= trachten könne.Man erhält so ein Gleichungssystem

$$\sum_{i \leq n} m_i \vec{\dot{s}}_i(t_j) = \mathfrak{p} \qquad j=1,\ldots,k$$

welches nach $m_1,\ldots,m_n$ und $\mathfrak{p}$ auflösbar ist unter der Voraussetzung,daß die zugehörige Matrix den Rang n hat[6]. Sicher gibt es solche Modelle,das bestreitet niemand.Aber genauso sicher ist,daß <u>es</u> Modelle <u>gibt</u>,in denen die zuge= hörige Matrix einen Rang kleiner als n hat. Und damit ist m nicht definierbar im logischen Sinn.

Die Theorie im zweiten Beispiel ist die klassische Partikelmechanik in der Formulierung von <u>Hamilton</u>.Man hat endlich viele Teilchen,deren Bewegung durch Ortsfunktionen (verallgemeinerte Koordinaten) $\mathfrak{q}_i$ und (verallgemeinerte) Impulsfunktionen $\mathfrak{p}_j$ beschrieben wird.Die Axiome der Theorie sind die <u>Hamilton</u>schen Gleichungen

$$\frac{\partial}{\partial \mathfrak{q}_i} H(\mathfrak{q}_1(t),\ldots,\mathfrak{q}_n(t),\mathfrak{p}_1(t),\ldots,\mathfrak{p}_n(t),t)=-\dot{\mathfrak{p}}_i(t)$$

7)
$$\frac{\partial}{\partial \mathfrak{p}_j} H(\mathfrak{q}_1(t),\ldots,\mathfrak{q}_n(t),\mathfrak{p}_1(t),\ldots,\mathfrak{p}_n(t),t)=\dot{\mathfrak{q}}_j(t)$$

für alle t und $i,j=1,\ldots,n$.

Hierbei bezeichnet H die <u>Hamilton</u>funktion,der Punkt über $\mathfrak{p}_i$ und $\mathfrak{q}_j$ die Ableitung nach der Zeit und

$\frac{\partial}{\partial \mathfrak{q}_i}$ bzw. $\frac{\partial}{\partial \mathfrak{p}_j}$ die partielle Ableitung nach $\mathfrak{q}_i$ bzw. $\mathfrak{p}_j$.

Für den Fall,daß die Ortsfunktionen $\mathfrak{q}_i$ in kartesischen Koordinaten aufgestellt sind,ist $n=3k$ ein Vielfaches von 3 und $\langle \mathfrak{q}_{3i-2},\mathfrak{q}_{3i-1},\mathfrak{q}_{3i}\rangle$ für $i=1,\ldots,k$ sind gerade die üblichen Ortsfunktionen.Die $\mathfrak{p}_j$ sind dann 'echte' Impuls=funktionen,nämlich $\mathfrak{p}_j=m_j\dot{\mathfrak{q}}_j$.In dieser Theorie ist die Hamiltonfunktion H nicht durch $\mathfrak{q}_1,\ldots,\mathfrak{q}_n,\mathfrak{p}_1,\ldots,\mathfrak{p}_n$ definierbar.Erstens wird mit H auch eine große Klasse 'äquivalenter' Funktionen 7) erfüllen.Eindeutigkeit kann also nur erreicht werden,wenn man ganze Äquivalenzklassen von Hamiltonfunktionen als physikalische Terme betrachtet. Selbst wenn man gewillt ist,dies zu tun -von der Physik her wäre nichts einzuwenden- ,so bleibt doch zweitens das Problem,daß die Existenz einer Hamiltonfunktion H,die mit gegebenen $\mathfrak{q}_1,\ldots,\mathfrak{q}_n,\mathfrak{p}_1,\ldots,\mathfrak{p}_n$ 7) erfüllt,nicht allgemein gesichert ist (siehe (3)).Das heißt,man kann nicht für beliebige $\mathfrak{q}_1,\ldots,\mathfrak{q}_n,\mathfrak{p}_1,\ldots,\mathfrak{p}_n$ die Existenz einer Funktion H beweisen,für die 7) gilt [7)].Nun ist aber bei Definierbarkeit von q durch $p_1,\ldots,p_n$ die Existenz von q trivialerweise gesichert,d.h. -modell=theoretisch gesprochen- in jedem Modell der auf $p_1,\ldots,$ p_n eingeschränkten Theorie <u>gibt es</u> eine Relation q mit den in der Definition geforderten Eigenschaften.Die Hamilton=funktion kann daher wegen der nicht in allen Fällen ge=sicherten Existenz nicht durch $\mathfrak{q}_1,\ldots,\mathfrak{q}_n,\mathfrak{p}_1,\ldots,\mathfrak{p}_n$ definierbar sein.

Bei diesen beiden Beispielen kommt sofort der Einwand,daß man im jeweiligen Spezialfall m oder H sehr wohl eindeutig erhalte, indem man bei m zusätzliche Bedingungen an die Ge=schwindigkeiten und bei H zusätzliche Bedingungen an die Form von H stellt (etwa H als durch ein Potential ge=geben). Dieser Einwand setzt voraus, daß ein wesentlicher Punkt des bisher Gesagten ignoriert wird, nämlich die Relativierung wissenschaftstheoretischer Betrachtungen auf <u>eine bestimmte Theorie</u>. Zunächst muß man auf die Physik schauen und verschiedene physikalische Theorien unter=scheiden. Es muß möglich sein, von einer 'Anwendung' genau zu sagen, zu welcher Theorie sie gehört. Erst wenn eine solche Einteilung vorliegt, kann man sinnvoll an wissen=schaftstheoretische und methodologische Fragen herangehen und sie am Beispiel konkreter Theorien untersuchen. Dabei ist mit 'konkreter' Theorie keine Mini-Theorie gemeint, die nur aus einem einzigen Spezialgesetz besteht, sondern eine Theorie, die in Lehrbüchern ganze Kapitel beansprucht. Insbesondere haben 'ausgewachsene' Theorien in der Regel verschiedene, nicht-homogene Anwendungen. Für den praktizierenden Physiker ist die Relativierung auf spezielle Theorien von untergeordneter Bedeutung. In vielen (vielleicht den meisten) Experimenten spielen mehrere Theorien zusammen, sodaß die reale Situation unter mehreren Aspekten als 'Anwendung' verschiedener Theorien gesehen wird. Dies erklärt, warum der obige Einwand von Seiten der Physik so natürlich ist. Man kommt aber in die größten Schwierigkeiten, wenn man die Nachlässigkeit bei der Theorie-Relativierung auf wissenschaftstheoretische Fragestellungen überträgt. Ein Paradebeispiel hierfür steht gerade zur Diskussion. Was soll Definierbarkeit bedeuten, wenn man sie nicht auf eine Theorie relativiert? Der einzig bisher bekannte und präzise Definierbarkeitsbe=griff ist 'Definierbarkeit in einer Theorie'. Eine Ver=wischung oder Aufgabe der Relativierung kann hier nur heißen: Verwischung oder Aufgabe klarer Begriffe und Probleme zugunsten verwaschener Vorstellungen. Eine nicht-wohlwollende Antwort auf den obigen Einwand wäre, daß er genau in diese Richtung führt.Wenn man sich damit zu= frieden gibt,daß in speziellen Anwendungen m und H stets genau bestimmbar sind und daß deshalb m und H definierbar seien,dann hat man den präzisen Begriff der 'Definierbar= keit in einer Theorie' aufgegeben und man redet in dunkler Weise von Definierbarkeit,ohne die Bedeutung des Wortes zu erfassen.

III PHYSIKALISCHE DEFINITION

Der Physiker,der den gerade besprochenen Einwand -daß man in einer bestimmten Anwendung stets spezielle An= nahmen machen kann,die zur eindeutigen Bestimmung der Werte theoretischer Funktionen führen- vorgebracht hat, wird die nicht-wohlwollende Antwort des Logikers mit Unbe= hagen zur Kenntnis nehmen.Vielleicht wird er sagen,man könne die Präzision auch übertreiben und da,wo eine übertriebene Präzision die Effektivität der Wissenschaft mindere,sei sie fehl am Platz.Zumindest wird er an seiner Intuition festhalten,daß 'kritische' Größen (wie m und H) keine bloß abstrakten Fiktionen sind,sondern stets einen wohlbestimmten Wert haben,so man diesen nur wirklich fest= stellen will.So steht auf der einen Seite die Ansicht des Logikers,daß theoretische Terme sich in physikalischen Theorien nicht definieren lassen;eine Ansicht,die bei geeignetem Verständnis von 'definierbar' und 'Theorie' nachweislich richtig ist.Auf der anderen Seite steht die Intuition des praktisch arbeitenden Physikers,für den theoretische Terme stets 'irgendwie' definierbar -weil meßbar- sind.

Der in der Einleitung angedeutete Ausweg,den ich hier zur Diskussion stelle,nämlich den Definierbarkeitsbegriff der Praxis und Intuition des Physikers angemessen zu ändern, geht davon aus,daß sich die Wissenschaftstheorie zunächst an den Einzelwissenschaften orientieren muß.Und wenn ein Begriff -wie hier der der Definierbarkeit- in wissenschaftstheoretischem Kontext anders gebraucht wird als in einzelwissenschaftlichem Kontext,dann sollte die Wissenschaftstheorie einen der Einzelwissenschaft ange= paßten neuen Begriff -zumindest versuchsweise- ein= führen.Im Fall der Definierbarkeit wäre demzufolge versuchs= weise ein Begriff einzuführen,der den Umgang des Physikers mit theoretischen Termen widerspiegelt.Ich nenne diesen Begriff <u>physikalische Definierbarkeit</u>.

Eine erste,grobe Explikation würde einen Term q physikalisch definierbar durch Terme $p_1,...,p_n$ nennen,wenn gilt:

8) Bei <u>hinreichender</u> Kenntnis von $p_1,...,p_n$ ist es möglich,den Wert von q für jedes Argument zu <u>ermitteln</u>.

Hier sind zwei Punkte angesprochen,in denen der logische Definierbarkeitsbegriff abgeschwächt wird.Die erste Ab= schwächung betrifft die definierenden Terme $p_1,...,p_n$. Während bei der logischen Definierbarkeit -modell= theoretisch gesprochen- die Extensionen der $p_1,...,p_n$ vollständig eingehen (man beachte den Allquantor in 1)), wird in 8) nur gefordert,daß man <u>hinreichend große</u> Teile der Extensionen von $p_1,...,p_n$ bei Definition von q be= nutzt.Die zweite Abschwächung betrifft die Art,wie ein Funktionswert (oder Wahrheitswert) von q für ein be= stimmtes Argument aus der Definition gewonnen wird.Bei der logischen Definition wird $qa_1,..,a_n$ gewonnen durch Ableitung aus 1) und der fraglichen Theorie.In 8) wird die Art,wie $qa_1,..,a_n$ gewonnen wird,offen gehalten durch das Wort <u>ermitteln</u>.Der Hintergedanke dabei ist natürlich, daß die Ermittlung nicht durch logische Ableitung,sondern durch <u>Messung</u> erfolgt.

Wenn man sich aber auf Messungen einläßt,so scheint eine präzise Formulierung der Definierbarkeit (syntaktisch oder modelltheoretisch) nicht mehr möglich,denn es kommen pragmatische und handlungstheoretische Gesichtspunkte ins Spiel.Ich meine,der Schein trügt.In der Tat,die intuitive Idee des physikalischen Definierbarkeitsbegriffs besteht *gerade darin,Messungen zu analysieren und im logischen* Formalismus darzustellen.Auf eine kurze,grobe Formel ge= bracht könnte man sagen: physikalische Definierbarkeit heißt Meßbarkeit.

Was ist ein Meßvorgang? Die für unsere Zwecke ausreichende, einfache Antwort für den Fall der Messung eines theoretischen Terms lautet

9) Ein Meßvorgang ist ein Modell der benutzten Theorie.

Die Begründung von 9) würde hier zu weit führen.Ich unter= stelle,daß 9) richtig ist.Meßvorgänge unterscheiden sich als Modelle von 'normalen' Modellen,indem in einem Meß= vorgang die Extension des zu messenden Terms eindeutig (bis auf Wahl der Einheit) durch die Extensionen der übrigen beteiligten Terme bestimmt ist.Diese Eindeutigkeit ist in 'normalen' Modellen für theoretische Terme,wie wir gesehen haben,nicht immer gegeben.In der eingeführten Terminologie läßt sich die Existenz nicht logisch definierbarer theoretischer Terme so formulieren: Es gibt Modelle,die keine Meßvorgänge sind.Wie lassen sich aber bei solchen Modellen die theoretischen Terme messen? Nun, einfach mit Meßapparaten.Entweder das betrachtete physikalische System (oder Teile desselben) wird in einen Meßapparat 'eingebracht' (z.B. gewogen) oder ein Meß= apparat wird an das System herangebracht (Probekörper).Auf jeden Fall wird eine Wechselwirkung hergestellt zwischen dem ursprünglichen System und einem Meßapparat.Unter Um= ständen kommt es vor,daß am Meßapparat schon <u>vorher</u> eine andere (Hilfs-) Messung vorgenommen werden mußte und die Analyse sollte die Möglichkeit endlicher <u>Ketten</u> von Messungen einschließen,bei denen erst die letzte Messung in der Kette das gewünschte Resultat -unter Voraus= setzung der in der Kette früheren Messungen- erbringt.

Wenn man berücksichtigt,daß ein Meßapparat auch in nicht benutztem Zustand ein Modell der Theorie ist,dann lassen sich die eben angestellten,intuitiven Überlegungen folgendermaßen präzisieren.

Gegeben ist eine Theorie T mit Termen $p_1,\ldots,p_n,q$ und die Klasse $\mathfrak{M}(T)$ ihrer Modelle.Wir nehmen mit Sneed (12) an,daß eine physikalische Theorie viele verschiedene Modelle -und nicht ein einziges universales Modell- hat. Diese entsprechen den verschiedenen Anwendungen der Theorie, wobei mit 'Anwendung' nicht das gemeint ist,was sich in Physik Lehrbüchern so bezeichnet findet,sondern das konkrete System,das im Labor untersucht wird.Ein Modell von T ist eine Entität $\langle I,\tilde{p}_1,\ldots,\tilde{p}_n,\tilde{q}\rangle$, wobei I eine Menge von Gegenständen ist und $\tilde{p}_1,\ldots,\tilde{p}_n,\tilde{q}$ Teilmengen von kartesischen Produkten von I mit sich selbst.Die Klasse $\mathfrak{S}(T)$ aller Meßvorgänge ist eine Teilklasse von $\mathfrak{M}(T)$. Genauer ist ein Element von $\mathfrak{S}(T)$ -also ein Meßvor=gang- definiert als ein Modell von T,in dem (die Extension von) q eindeutig bis auf Wahl der Einheit be=stimmt ist durch (die Extensionen von) $p_1,\ldots,p_n$ [8].Die Wechselwirkung eines physikalischen Systems mit einem Meßapparat entspricht dann einer Verknüpfung zweier zuge=höriger Modelle.Denn sowohl das physikalische System als auch der Meßapparat sind,wenn man von irrelevanten Eigen=schaften abstrahiert,Modelle der Theorie.Eine solche Ver=knüpfung zweier Modelle kann formal in verschiedener Weise erklärt werden.Ich verwende hier eine äußerst schwache Verknüpfungsbeziehung,die aber schon das Gewünschte leistet. Auch bei dieser Verknüpfung werde ich von Wechselwirkung reden.

Wir betrachten zwei Modelle $\langle I,\tilde{p}_1,\ldots,\tilde{p}_n,\tilde{q}\rangle$ und $\langle I',\bar{p}_1,\ldots,\bar{p}_n,\bar{q}\rangle$ und sagen,daß diese über x in Wechsel=wirkung stehen,wenn gilt $x\in\tilde{q}\cap\bar{q}$ und wenn $\tilde{q}\cap\bar{q}$ die strukturellen Eigenschaften hat,die die Theorie für q fordert [9].Ist q ein Funktionszeichen,so bedeutet dies, daß der Definitionsbereich der beiden Funktionen $\tilde{q}$ und $\bar{q}$ ein gemeinsames Element y enthält und daß beide

Funktionen für dieses Argument den gleichen Wert liefern: $z=\tilde{q}(y)=\bar{q}(y)$. Für $x:=\langle y,z\rangle$ gilt dann gerade $x\in\tilde{q}\cap\bar{q}$. Anders ausgedrückt: Beide Modelle haben ein gemeinsames Objekt y, für das q in beiden Fällen definiert ist und q hat bei y in beiden Fällen den gleichen Wert. Im Fall der Messung durch einen Probekörper ist y gerade der Probekörper selbst (evtl. zu einem bestimmten Zeitpunkt), im Fall der Messung durch Einbringen des Systems in einen Meßapparat (z.B. Waage) ist y irgendein Objekt des Systems.

Die Definition der Wechselwirkung ist so gehalten, daß eine Verkettung keine Schwierigkeiten macht. Wir bezeichnen die Extensionen von p_i und q in verschiedenen Modellen (d.h. die verschiedenen Interpretationen von p_i und q) mit oberen Indizes, etwa $M_j=\langle I_j,p_1^j,\dots,p_n^j,q^j\rangle$ und erhalten folgende Explikation der physikalischen Definierbarkeit.

10) Es sei T eine Theorie mit Sprache $L=\{p_1,\dots,p_n,q\}$. q heißt <u>in T durch</u> $p_1,\dots,p_n$ <u>physikalisch definierbar</u> genau dann wenn gilt:
Zu jedem Modell $M=\langle I,\tilde{p}_1,\dots,\tilde{p}_n,\tilde{q}\rangle$ von T und zu jedem $x\in\tilde{q}$ gibt es endliche Folgen $\langle M_1,\dots,M_m\rangle$ und $\langle x_1,\dots,x_m\rangle$, sodaß

a) $M_j=\langle I_j,p_1^j,\dots,p_n^j,q^j\rangle\in\mathfrak{M}(T)\cap\mathcal{Y}(T)$ für $j=1,..,m$

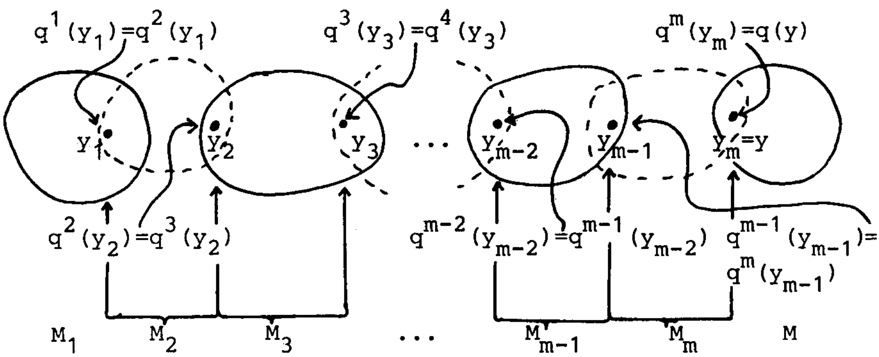
b) $x_j\in q^j\cap q^{j+1}$ für $j=1,\dots,m-1$

c) $x_m\in q^m$ und $x_m=x$

d) für alle $j=1,\dots,m-1$ steht M_j mit M_{j+1} über x_j in Wechselwirkung

Die Bedeutung von 10) kann man besonders einfach erkennen, wenn q eine Funktion ist. Die Zeichen $x,x_1,\dots,x_m$ in 10) stehen dann für Paare $\langle y,z\rangle,\langle y_1,z_1\rangle,\dots,\langle y_m,z_m\rangle$, bestehend aus Argumenten y,y_i und Funktionswerten z,z_i. Für ein passendes Argument y wird q(y) wie folgt ermittelt. Man bestimmt zunächst durch einen Meßvorgang M_1 den (bis auf Wahl der Maßeinheit) in M_1 eindeutigen Wert $q^1(y_1)$ für ein geeignetes y_1. Hier sind die Wendungen 'durch einen

Meßvorgang' und 'für ein geeignetes Argument' natürlich zu verstehen als Umschreibungen von Existenzbehauptungen: 'es gibt einen Meßvorgang' und 'es gibt ein Argument y_1, sodaß...'.Sodann sucht man einen Meßvorgang M_2,sodaß y_1 in M_2 im Definitionsbereich von q^2 liegt.q^2 ist in M_2 eindeutig durch $p_1^2,\dots,p_n^2$ bestimmt.Ferner folgt aus 10-b),daß $q^1(y_1)=q^2(y_1)$.Aus diesen beiden Tatsachen läßt sich für geeignetes y_2 $q^2(y_2)$ bestimmen.Der Prozeß wird mit weiteren $y_3,\dots,y_m$ $(y_m=y)$ fortgesetzt.In M_m hat man somit $q^m(y_m)$ermittelt.Aus 10-c) folgt aber,wenn man beachtet,daß y im Definitionsbereich von q liegt: $q^m(y_m)=q(y)$.Das heißt, q(y) ist festgelegt durch die Zahlen $q^1(y_1),\dots,q^m(y_m)$,welche sukzessive ermittelt werden.Man hat folgendes Diagramm.



Die Kreise stellen die Definitionsbereiche der Funktionen $q^1,\dots,q^m$ in den verschiedenen Modellen $M_1,\dots,M_m$ dar.Die x_j in 10) haben für Funktionen die Gestalt $x_j=\langle y_j,f(y_j)\rangle$.In jedem Modell M_j $(j=2,\dots,m)$ ist das Verhältnis der Funktionswerte

$$\frac{q^j(y_{j-1})}{q^j(y_j)}$$

eindeutig bestimmt,was durch die geschweiften Klammern an= gedeutet wird.Für die Punkte y_j,die im Durchschnitt der Definitionsbereiche zweier Funktionen liegen,ist in 10-b) und 10-c) gefordert,daß beide Funktionen für y_j denselben

Wert annehmen[10)].

In den früher intuitiv angesprochenen Fällen ist die Lage viel einfacher.Bei Messung durch Einbringen in einen Meßapparat hat man m=1,bei Messung mit einem Probekörper wird m=2 sein.In M_1 bestimmt man in letzterem Fall einen Wert für den Probekörper.M_2 ist das gegebene System plus Probekörper.Hier ist M eine Teilstruktur von M_2.

Ein einfaches Beispiel für Messung durch Einbringen in einen Meßapparat ist die Massenbestimmung mittels einer Waage.Man hat ein physikalisches System M,(z.B.eine Lokomotive) und man möchte die Masse eines Teilchens y von M (etwa eines Schwungrades) bestimmen.Man nimmt y aus M heraus und legt es auf eine Waage,welche für sich ein physikalisches System M' darstellt.M' soll auch schon die 'richtigen' Gewichte auf der anderen Waagschale enthalten, d.h. die Gewichte,die y genau aufwiegen.M' plus y_1:=y ergibt ein physikalisches System M_1.Nun ist y sowohl in M_1 als auch in M (allerdings nicht zu gleicher Zeit) und daher liegt y in beiden Systemen im Definitionsbereich der zugehörigen Massenfunktionen m_1 und m.In M_1 sind die Massenverhältnisse der auf den Waagschalen liegenden Teile eindeutig bestimmt,d.h. $M_1 \in \mathcal{M}(T) \cap \mathcal{S}(T)$.Nach Wahl der Maßeinheit läßt sich daher in M_1 $m_1(y_1)$ ermitteln.Aus $y_1=y$ und weil die Masse sich beim Transport nicht ändert, erhält man so $m(y)=m_1(y)=m_1(y_1)$.Letztere Eigenschaft ist in 10-c) ausgedrückt.10-b,d) wurden hier nicht gebraucht, sie treten erst auf,wenn mindestens zwei zusätzliche Systeme benötigt werden.

Man sieht,daß 10) wesentlich allgemeiner gehalten ist,als für die naheliegenden Fälle notwendig erscheint.Aber bei der großen Vielfalt von Meßmethoden werden sich wohl auch solche finden lassen,bei denen 10) voll ausgeschöpft werden muß.Natürlich möchte ich nicht behaupten,daß 10) <u>die</u> adäquate Explikation darstellt.Vielmehr verbinde ich mit 10) nur die (empirische) Behauptung,daß physikalische Meßmethoden sich in der Form 10) darstellen lassen.Diese

Behauptung ist sofort widerlegt,wenn es gelingt als Gegen=beispiel eine andersartige Meßmethode vorzuweisen.Mir ist bis jetzt kein Gegenbeispiel eingefallen,wohl aber gibt es positive Beispiele.Dazu zählen die Massenbestimmungen,die rein kinematisch und durch Vergleich erfolgen (wie etwa das Wiegen mit der Waage),die Massenbestimmung von Himmelskörpern des Sonnensystems und Massenbestimmungen durch Stoß.Weiter Messung von Kräften mit der Federwaage, mit Hilfe von Probekörpern und Bestimmung der Kraft durch $f:=m\ddot{s}$.

Die Beispiele lassen vermuten,daß die Masse in der Stoßmechanik durch die Ortsfunktion und die Kraft in der Newtonschen Mechanik durch Ort und Masse physikalisch definierbar sind.Wie es in anderen Theorien mit der physikalischen Definierbarkeit steht,ist im Moment schwer zu sagen.Man muß jeden Fall einzeln untersuchen.

Schließlich wäre noch zu überlegen,wie es bei physikalischer Definierbarkeit mit der Eliminierbarkeit steht.Zunächst ist nicht zu sehen,wie man 10) zu einer syntaktischen Elimination von q verwenden könnte.Um hier etwas Überblick zu gewinnen, wäre es nötig,10) in einen syntaktischen Begriff überzu=führen.Dies dürfte in einer Sprache höherer Stufe keine prinzipiellen Schwierigkeiten bereiten;eine syntaktische Formulierung für die erste Stufe ist sowieso nicht möglich, weil in 10) über Modelle quantifiziert wird.In einer reichen Sprache höherer Stufe scheint es aber durchaus möglich,für Primformeln z.B.der Art fa=b (wobei f physikalisch durch andere Größen definierbar ist) äquivalente Formeln zu fin=den,die den definierten Term nicht enthalten.Jedenfalls wäre dies für den Logiker eine interessante Aufgabe.

FUßNOTEN

1) Die Idee zu dieser Arbeit entstand während der Zeit meiner Mitarbeit im DFG-Forschungsprogramm KA 407.Ich

bin dem Leiter dieses Projekts,Prof.A.Kamlah,ver=
pflichtet,sowohl für anregende Diskussionen als auch für kritische Bemerkungen.

2) Mehr zu diesen Begriffen findet man in (9),S.392-96.

3) Bei Ludwig (4) ist von Modellen nicht die Rede.Was ich im Folgenden als Modelle bezeichne,entspricht im Ludwigschen Konzept den Strukturen s einer bestimmten Strukturart,für die $(s \in S(x_1,\ldots,x_n,A_1,\ldots,A_m)) \wedge P(x_1,\ldots,x_n,s)$ gilt.Vergleiche (4),S.83,84.

4) 2) ist eine einfache Folgerung des 'Definability Theorem' auf S.81 in (10).

5) (8),S.32.

6) Vergleiche hierzu die Diskussion in (6),(7) und (11).

7) Diese Feststellung bleibt auch richtig,wenn man fordert, daß die $\mathfrak{p}_i$ und $\mathfrak{q}_j$ konjugiert sind.Zwar wundert man sich,weil doch in der Definition von 'konjugiert' Hamiltonfunktionen vorkommen.Die Analyse einer logisch präzisen Definition von 'konjugiert' (die bis jetzt in keinem Mechanik-Lehrbuch zu finden ist) zeigt aber,daß keinerlei Existenzforderungen in die Definition ein=
gehen.

8) Die Verallgemeinerung auf mehrere theoretische Terme $q_1,\ldots,q_n$ liegt auf der Hand.

9) Steht z.B. in den Axiomen der Theorie,daß der Definitionsbereich von q ein Intervall der reellen Zahlen ist,so soll auch der gemeinsame Definitions=
bereich von $\tilde{q}$ und $\bar{q}$ ein solches Intervall sein.

10) Dies entspricht dem sogenannten $\langle =,= \rangle$-Constraint in (12)

LITERATUR

(1) Balzer,W.,Die epistemologische Rolle des zweiten Newtonschen Axioms,erscheint in: Philosophia Naturalis (1979)

(2) Fraassen,B.C.v.,A Formal Approach to the Philosophy of Science,in.R.G.Colodny (Hrsg.):Paradigms and Paradoxes,

University of Pittsburgh Press 1972

(3) Havas,P.,The Range of Application of the Lagrange Formalism,Nuovo Cimento,Supplemento al Volume V,Serie X,1957,S.363 ff.

(4) Ludwig,G.,Deutung des Begriffs "Physikalische Theorie" und axiomatische Grundlegung der Hilbertraumstruktur durch Hauptsätze des Messens,Berlin-Heidelberg-New York,1970

(5) Mach,E.,Die Mechanik in ihrer Entwicklung,Darmstadt, 1963

(6) Pendse,C.G.,A Note on the Definition and Determination of Mass in Newtonian Mechanics,Philosophical Magazine XXIV,No.7, 1937 ,S.1012-22

(7) Pendse,C.G.,A Further Note on the Definition and Determination of Mass in Newtonian Mechanics, Philosophical Magazine XXVII,1939,S.51-61

(8) Quine,W.v.O.,Word and Object,M.I.T.Press 1960

(9) Reichenbach,H.,Gesammelte Werke,Band 2,Hrsg.A.Kamlah und M.Reichenbach,Braunschweig 1977

(10) Shoenfield,J.R.,Mathematical Logic,Reading/Mass.1967

(11) Simon,H.A.,Axioms of Newtonian Mechanics,Philosophical Magazine,XXXVI No.7,1947,S.888-905

(12) Sneed,J.D.,The Logical Structure of Mathematical Physics,Dordrecht 1971

(13) Stegmüller,W.,Theorie und Erfahrung,Erster Halbband, Berlin-Heidelberg-New York 1971